

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-330614

(43)Date of publication of application : 30.11.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

H01L 33/00

(21)Application number : 10-129810

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 13.05.1998

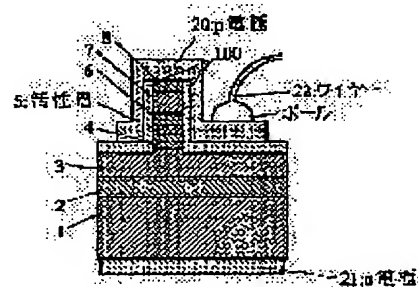
(72)Inventor : NAGAHAMA SHINICHI
NAKAMURA SHUJI

(54) NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize a laser element having mainly a blue-green region light, and to accomplish a high output power of the laser element.

SOLUTION: In a nitride semiconductor element provided with an active layer 5 with a well layer consisting of a nitride semiconductor containing In between an n-layer and a p-layer, the crystallizability of a clad layer and the active layer 5 to be grown on a superlattice layer can be improved and an element of long wavelength can be obtained, by growing an active layer provided with a superlattice layer having a nitride semiconductor layer containing In in quantity smaller than In in the well layer. Also, it is desirable that the superlattice layer is provided on both n-layer and p-layer, and the impurity is modulation-doped in the superlattice layer.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 28.02.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-330614

(43) 公開日 平成11年(1999)11月30日

(51) Int.Cl.⁸

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平10-129810

(22) 出願日 平成10年(1998) 5 月13日

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 長濱 慎一

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 中村 修二

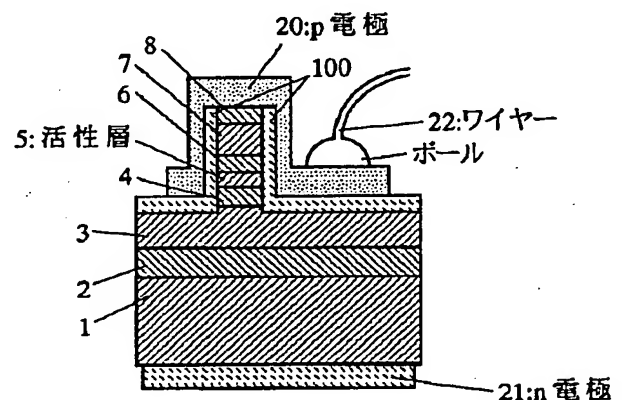
徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体素子

(57) 【要約】

【目的】 主として青色～緑色領域のレーザ素子を実現すると共に、レーザ素子の高出力化を実現する。

【構成】 n層とp層との間に、Inを含む窒化物半導体からなる井戸層を有する活性層を備えた窒化物半導体素子において、n層、若しくはp層の少なくとも一方に、井戸層のIn量よりも少ないIn量の窒化物半導体層を有する超格子層を備える活性層を成長させることにより、超格子層の上に成長させる活性層、クラッド層の結晶性が良くなり長波長の素子を得ることができる。また、超格子はn層、p層両方に設け、超格子に不純物を変調ドーピングすることが望ましい。



(2)

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 n型不純物を含む窒化物半導体層と、p型不純物を含む窒化物半導体層との間に、少なくともInを含む窒化物半導体からなる井戸層を有する活性層を備えた窒化物半導体素子において、前記n型不純物を含む窒化物半導体層、若しくはp型不純物を含む窒化物半導体層の少なくとも一方には、井戸層のIn量よりも少ないIn量の窒化物半導体層を有する超格子層を備えることを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項2】 前記井戸層は $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 1$) からなり、前記超格子層は $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y < 1, y < x$) と、 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) とからなることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体素子。

【請求項3】 前記超格子層は、n型不純物を含む窒化物半導体層側、及びp型不純物を含む窒化物半導体層側両方に形成されており、両方の超格子層が活性層と接して形成されていることを特徴とする請求項1または2に記載の窒化物半導体素子。

【請求項4】 前記n型不純物を含む窒化物半導体層側の超格子層には、n型不純物がドーピングされており、そのn型不純物濃度が超格子層中において異なることを特徴とする請求項1乃至3の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項5】 前記超格子を構成する少なくとも2種類の半導体層において、一方の窒化物半導体がアンドープ若しくはもう一方の窒化物半導体層よりもn型不純物が少なくドーピングされており、もう一方の窒化物半導体層にはn型不純物が多くドーピングされていることを特徴とする請求項4に記載の窒化物半導体素子。

【請求項6】 前記p型不純物を含む窒化物半導体層側の超格子層には、p型不純物がドーピングされており、そのp型不純物濃度が超格子層中において異なることを特徴とする請求項1乃至5の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体素子。

【請求項7】 前記超格子を構成する少なくとも2種類の半導体層において、一方の窒化物半導体がアンドープ若しくはp型不純物がもう一方の窒化物半導体よりも少なくドーピングされており、もう一方の窒化物半導体層にはp型不純物が多くドーピングされていることを特徴とする請求項6に記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は発光ダイオード (LED)、レーザダイオード (LD)、スーパーミミネセントダイオード (SLD) 等の発光素子、太陽電池、光センサ等の受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに用いられる窒化物半導体 ($\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$) 素子

2

に関する。

【0002】

【従来の技術】 我々は窒化物半導体基板の上に、活性層を含む窒化物半導体レーザ素子を作製して、世界で初めて室温での連続発振1万時間以上を達成したことを発表した (ICNS'97 予稿集, October 27-31, 1997, P444-446、及びJpn. J. Appl. Phys. Vol. 36 (1997) pp. L1568-1571, Part 2, No. 12A, 1 December 1997)。基本的な構造としては、サファイア基板上に成長されたGaN層の上に、部分的に形成された SiO_2 膜を介し、その SiO_2 膜の上部に横方向に成長されたGaNよりなる窒化物半導体基板の上に、複数の窒化物半導体層が積層されてレーザ素子構造とされている。 (詳細はJpn. J. Appl. Phys. Vol. 36 参照) このレーザ素子は閾値電流密度 4 kA/cm^2 において、 403.7 nm のシングルモードで発振する。なお閾値における電圧は 4.6 V である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 レーザ素子を、例えばDVDの光源として使用するには、ディスクのポリカーボネートの性質から 410 nm 前後が限界といわれている。また、短波長レーザ素子の用途は幅広く、緑色に近いレーザ素子も求められている。そのためには前記レーザ素子を長波にすることが必要である。

【0004】 また1万時間以上の連続発振が実現されたといっても、未だその出力は 2 mW に過ぎず、書き込み光源とするには高出力状態において、5000時間以上の寿命が必要とされる。

【0005】 従って、本発明の目的とするところは、主として青色～緑色領域のレーザ素子を実現すると共に、レーザ素子の高出力化を実現することにある。また最も過酷な条件で使用されるレーザ素子の出力を向上させることができれば、他の緩やかな条件の下で使用されるLED、SLD等の他の発光デバイスの出力、受光デバイスの効率等も向上させることが可能となる。

【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明の窒化物半導体素子は、n型不純物を含む窒化物半導体層 (以下、n層という。) と、p型不純物を含む窒化物半導体層 (以下、p層という。) との間に、少なくともInを含む窒化物半導体からなる井戸層を有する活性層を備えた窒化物半導体素子において、前記n層、若しくはp層の少なくとも一方には、井戸層のInよりも少ないIn量の窒化物半導体層を有する超格子層を備えることを特徴とする。

【0007】

本発明の窒化物半導体素子は、前記井戸層は $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 1$) からなり、前記超格子層は $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y < 1, y < x$) と、 $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) とからなることを特徴とする。井戸層の好ましいIn組成Xとしては $0.1 \leq X \leq 0.6$ 、好ましくは $0.15 \leq X \leq 0.5$ の範囲に調整する。井戸層の範囲をこの範囲に調整することにより、例えば43

3

0 nm～560 nm付近において、高効率に発光する素子を得ることができる。

【0008】また、前記超格子層は、n層側、及びp層側両方に形成されており、両方の超格子層が活性層と接して形成されていることを特徴とする。活性層に接して形成されている場合、活性層の接触面は井戸層でも、障壁層でも良い。

【0009】さらにまた、前記n層側の超格子層には、n型不純物がドーピングされており、そのn型不純物濃度が超格子層中において異なることを特徴とする。

【0010】n型不純物がドーピングされる場合、超格子を構成する少なくとも2種類の半導体層において、一方の窒化物半導体がアンドープ若しくはもう一方の窒化物半導体層よりもn型不純物が少なくドーピングされており、もう一方の窒化物半導体層にはn型不純物が多くドーピングされていることを特徴とする。

【0011】また、前記p層側の超格子層には、p型不純物がドーピングされており、そのp型不純物濃度が超格子層中において異なることを特徴とする。

【0012】p型不純物がドーピングされる場合、超格子を構成する少なくとも2種類の半導体層において、一方の窒化物半導体がアンドープ若しくはp型不純物がもう一方の窒化物半導体層よりも少なくドーピングされており、もう一方の窒化物半導体層にはp型不純物が多くドーピングされていることを特徴とする。

【0013】

【発明の実施の形態】窒化物半導体中にドーピングされるn型不純物にはSi、Ge、Sn、S、Ti、Zr等が挙げられるが、その中でもSiが最も一般的に用いられる。またp型不純物にはMg、Zn、Be、Ca、Sr等が挙げられるがその中でもMgが最も一般的に用いられる。

【0014】本発明の素子の活性層における井戸層のInの組成比は、全3族元素に対して10%以上とすることが望ましく、例えば井戸層が $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ であると、xは0.1以上、0.6以下とすると、430～560 nm付近において、高効率、高輝度な発光素子が得られる。xは0.6より大きくしてもよいが、0.6より大きくすると井戸層の結晶性が悪くなるため、素子寿命が短くなる傾向にある。また井戸層を3元混晶の InAlN 、4元混晶の InAlGaN で構成しても良い。

【0015】また超格子層とは、例えば膜厚100オングストローム以下、好ましくは70オングストローム以下、さらに好ましくは50オングストローム以下の互いに組成が異なる窒化物半導体層（バンドギャップエネルギーは同じでも良い。）を積層した多層膜層を指し、少なくとも一方は井戸層のIn組成よりも少ないIn組成を有する窒化物半導体層とする。この場合好ましい組成としては $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 < y < 1$, $y < x$) とし、好

4

ましくはyを井戸層と対応して0.6未満、さらに好ましくは0.5未満とする。また3元混晶の InAlN 、4元混晶の InAlGaN としても良い。超格子層を構成するもう一方の窒化物半導体は $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ ($0 \leq a < 1$) とすることが望ましい。 $\text{InGa}\text{N}/\text{AlGa}\text{N}$ 若しくは $\text{InGa}\text{N}/\text{Ga}\text{N}$ の超格子とすると、長波長において高出力、高効率の素子が得られる。

【0016】超格子層はn層側、p層側いずれか一方に形成しても良いが、両方に形成することが望ましい。超格子層がn層側、及びp層側両方に形成されている場合、例えば、分離閉じ込め型ダブルヘテロ構造の素子を作製すると、超格子層から活性層と離れた側にあるクラッド層に必ずしも AlGaN を形成しなくても良い。 AlGaN 、 AlInN 等のAlを含む窒化物半導体は一般に結晶成長が難しく、また抵抗率も高い傾向にある。このため、クラッド層を GaN とすることができると、Vfが低く、結晶成長しやすい素子を作製することができる。但し、本発明では必ずしもクラッド層を GaN にする必要もなく、Alを含む窒化物半導体で構成しても良い。例えばAlの組成比が小さい（全3族元素の40%以下）窒化物半導体は成長しやすい。

【0017】n層側の超格子層にn型不純物をドーピングする場合、超格子層中においてn型不純物濃度を異ならせるようにすることが望ましい。好ましい態様としては活性層に接近するに従って、平均的にn型不純物濃度を小さくすると、素子の出力が向上する傾向にある。また超格子層を構成する2種類の窒化物半導体に変調ドーピングを行うことが望ましい。変調ドーピングとは一方の窒化物半導体層と、もう一方の窒化物半導体層とでn型不純物濃度を異ならせることであり、例えば一方をアンドープ（意図的に不純物をドーピングしない状態）若しくはn型不純物を少なくドーピングし、もう一方をn型不純物を多くドーピングする。n型不純物濃度としては少ない方が $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下、さらに好ましくは $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 以下に調整する。一方、多い方は $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上、好ましくは $3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上、最も好ましくは $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上に調整する。上限は $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ 以下にする方が結晶性良く成長できる。不純物濃度の差は1桁以上あることが望ましい。

【0018】一方p層側の超格子層にp型不純物をドーピングする場合、超格子層中においてp型不純物濃度を異ならせるようにすることが望ましい。好ましい態様としては活性層に接近するに従ってp型不純物濃度を小さくすると、素子の出力が向上する傾向にある。また超格子層を構成する2種類の窒化物半導体に変調ドーピングを行うことが望ましい。例えば一方をアンドープ（意図的に不純物をドーピングしない状態）若しくはp型不純物を少なくドーピングし、もう一方をp型不純物を多くドーピングする。p型不純物濃度としては少ない方が $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以下、

(4)

5

好ましくは $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下、さらに好ましくは $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以下に調整する。一方、多い方は $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以上、好ましくは $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 以上、最も好ましくは $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 以上に調整する。上限は $1 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ 以下にする方が結晶性良く成長できる。不純物濃度の差は1桁以上あることが望ましい。

【0019】本発明のようにInを含む窒化物半導体、好ましくはInGa_{1-x}Nを含む超格子層をn層側、p層側に挿入すると次のような利点がある。例えばレーザ素子を例にとりて説明すると、従来、多重量子井戸構造の活性層を挟む構造は、n-AlGa_{1-x}NとGa_{1-x}N超格子(クラッド層)/n-Ga_{1-x}N(ガイド層)/活性層/p-Ga_{1-x}N(ガイド層)/p-AlGa_{1-x}NとGa_{1-x}N超格子(クラッド層)からなる構造を有していた。長波長(青～緑色)のレーザを作製しようとする、井戸層のIn組成を大きくしなければならない。井戸層のIn組成を大きくすると、従来の構造ではクラッド層がAlGa_{1-x}Nであるので十分すぎる程のバンドオフセットがある。本発明ではクラッド層をGa_{1-x}Nとすることもできるので、Ga_{1-x}Nとしても十分に活性層とのバンドオフセットがとれる。クラッド層をGa_{1-x}NとするとAlGa_{1-x}Nに比較して膜中にクラックが入りにくくなるため、結晶性が向上し、素子の信頼性が良くなる。

【0020】さらにガイド層について、クラッド層と活性層との中間の屈折率を有する材料を選択すると例えばInGa_{1-x}Nが選択できるが、InGa_{1-x}Nをガイド層として作用させるには例えば500オングストローム以上の膜厚が必要となる。しかしある一定量のIn組成比を有するInGa_{1-x}Nを単層で500オングストローム以上成長させることは難しく、InGa_{1-x}N成長途中でInの組成分離が起こり結晶性が悪くなる傾向にある。InGa_{1-x}Nは厚さが薄いほど組成分離の影響が小さく、例えば結晶性の良いInGa_{1-x}Nの臨界膜厚は100オングストローム以下にすることが望ましい。そのため本発明ではガイド層を膜厚の薄いInGa_{1-x}Nを有する超格子構造としているため、膜質の良いガイド層が成長できる。しかもInGa_{1-x}N/Ga_{1-x}N、InGa_{1-x}N/AlGa_{1-x}N等の超格子構造とすると、屈折率が活性層とクラッド層のとの中間にあるガイド層が容易に成長できる。ガイド層の結晶性が良くなると、その上に成長させる活性層、クラッド層の結晶性が良くなり、特に420nm以上のレーザ素子を作製するのに非常にふさわしい。またクラッド層をGa_{1-x}Nにできるので、AlGa_{1-x}Nに比較して直列抵抗が低くなり、素子のV_f(順方向電圧)を低下させることもできる。

【0021】

【実施例】以下実施例において、本発明を詳説するが以下の実施例は本発明における一例を示すものであって、必ずしも以下の構造に限定されるものではない。

【0022】【実施例1】図1は本実施例に係るレーザ

6

素子の構造を示す模式的な断面図であり、共振面に平行な方向で素子を切断した際の図を示すものである。以下、この図を基に実施例1について説明する。

【0023】1インチ角のSiドープGa_{1-x}Nよりなる窒化物半導体基板1を用意する。この窒化物半導体基板1は、以下のようにして成長させたものである。

【0024】(窒化物半導体基板1) 2インチφ、C面を主面とするサファイアよりなる異種基板1をMOVPE反応容器内にセットし、温度を500℃にして、トリメチルガリウム(TMG)、アンモニア(NH₃)を用い、Ga_{1-x}Nよりなるバッファ層を200オングストロームの膜厚で成長させる。バッファ層成長後、温度を1050℃にして、同じくGa_{1-x}Nよりなる下地層を4μmの膜厚で成長させる。

【0025】下地層成長後、ウェーハを反応容器から取り出し、この下地層の表面に、ストライプ幅10μm、ストライプ間隔(窓部)2μmのSiO₂よりなる保護膜を形成する。保護膜形成後、ウェーハを再度MOVPEの反応容器内にセットし、温度を1050℃にして、TMG、アンモニアを用い、アンドープGa_{1-x}N層を5μm成長させ、SiO₂の表面を覆う。成長後、ウェーハをMOVPE装置からHVPE装置に移送しGa_{1-x}メタルと、アンモニア、HCl、シランガスを用い、Siを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Ga_{1-x}N層を200μmの膜厚で成長させる。成長後、サファイア基板側から研磨して、サファイア基板、バッファ層、下地層、保護膜を除去することにより、総膜厚170μmのSiドープGa_{1-x}Nからなる窒化物半導体基板1を作製する。SiドープGa_{1-x}NのSi濃度は $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ の範囲に調整することが望ましい。

【0026】(バッファ層2) 以上のようにして作製した窒化物半導体基板1をMOVPE装置に移送し、アンモニアとTMG、不純物ガスとしてシランガスを用い、AS-GROWN側の窒化物半導体基板面に、1050℃でSiを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたGa_{1-x}Nよりなるバッファ層2を2μmの膜厚で成長させる。このように窒化物半導体と異なる材料よりなる異種基板上に、100μm以上の膜厚で基板となるような窒化物半導体を成長させ、その後異種基板を除去して窒化物半導体基板を作製した場合、その窒化物半導体基板のAS-GROWN面(異種基板除去側と反対側面)に、まずGa_{1-x}Nを10μm以下の膜厚で成長させてバッファ層とすると、次に成長させる窒化物半導体の結晶性が良くなる傾向にある。

【0027】(n側クラッド層3) 続いて、1050℃でTMG、アンモニア、シランガスを用い、Siを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Ga_{1-x}Nよりなるn側クラッド層3を1.5μmの膜厚で成長させる。

【0028】(n側光ガイド層4) 続いて、800℃でTMI(トリメチルインジウム)、TMG、アンモニアを用い、アンドープIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる層を20

7

オングストローム成長させ、続いてTMIを止めてシランガスを流し、Siを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Ga_{0.8}N層を20オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこれらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚800オングストロームのn側光ガイド層4を成長させる。

【0029】(活性層5)次に、800℃で、Siを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたn型In_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる障壁層を100オングストロームの膜厚で成長させる。続いて750℃で、アンドープIn_{0.5}Ga_{0.5}Nよりなる井戸層(第1の窒化物半導体層)を30オングストロームの膜厚で成長させる。次に温度を750℃に保持したままTMAを原料ガスに加え、アンドープAl_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第2の窒化物半導体層を10オングストローム成長させる。次に温度を800℃に上昇してSiを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたn型In_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる障壁層(第3の窒化物半導体層)を100オングストローム成長させる。

【0030】障壁層成長後、温度を750℃に下げ、続いてアンドープIn_{0.5}Ga_{0.5}Nよりなる井戸層(第1の窒化物半導体層)を30オングストロームの膜厚で成長させる、続いて750℃にて、アンドープAl_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第2の窒化物半導体層を10オングストローム成長させ、次に温度を800℃にしてSiドープIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる障壁層(第3の窒化物半導体層)を100オングストローム成長させる。

【0031】このようにして障壁+(井戸+第2+障壁)×5とを積層した総膜厚800オングストロームの多重量子井戸構造からなる活性層5を成長させる。

【0032】活性層5では、InGa_{0.8}Nからなる井戸層と、井戸層よりもバンドギャップエネルギーが大きい、若しくは膜厚が厚い障壁層との間に、30オングストローム以下で、障壁層とバンドギャップエネルギーが同一か、それよりも大きいAlGa_{0.8}N、Ga_{0.8}N(Al_xGa_{1-x}N、 $0 \leq x < 1$)からなる第2の窒化物半導体を成長させることが望ましい。一般に第2の窒化物半導体の分解温度は井戸層よりも高い。従って、その分解温度の高い第2の窒化物半導体層の上にGa_{0.8}N、InGa_{0.8}N(この場合、In組成比は井戸層よりも小さい)等からなる障壁層を成長させると、障壁層を厚膜で成長させた場合に結晶性が良くなる。また井戸層と障壁層との間にAlを含む窒化物半導体層が存在すると、閾値が低下しやすい傾向にある。従って第1、第2、第3の窒化物半導体層を繰り返して積層した多重量子井戸構造の活性層を成長させることにより、長波長の素子が得られて、素子の出力が向上する。

【0033】(p側光ガイド層6)続いて800℃で、アンドープIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる層を20オングストローム成長させ、続いてCp2Mgガスを流し、Mgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Ga_{0.8}N層を20オン

(5)

8

グストロームの膜厚で成長させる。そしてこれらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚800オングストロームのp側光ガイド層6を成長させる。

【0034】なお、前記工程においてn側光ガイド層4、及びp側光ガイド層6のいずれか一方を省略することもできる。省略した場合はコア部の厚さが薄くなり光の閉じ込めが悪くなるので、活性層5の井戸+障壁のベア数を増やして、活性層の膜厚を1000オングストローム以上、好ましくは1200オングストローム以上、最も好ましくは1500~3000オングストロームにすることが望ましい。さらに、活性層を多重量子井戸構造で形成する場合、少なくとも一方の端部は障壁層とすることが閾値を低下させる上で望ましい。なお、上記コア部とは、活性層とガイド層とを合わせた部分を指す。

【0035】(p側クラッド層7)続いて、850℃でMgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Ga_{0.8}Nよりなる層を1.0μm成長させる。p側クラッド層7の膜厚はVfを低下させる上で、n側クラッド層3よりも薄くすることが望ましく、好ましくは1.2μm以下、さらに好ましくは1μm以下に調整する。レーザ素子の光閉じ込め層としての下限としては200オングストローム以上にすることが望ましい。

【0036】(p側コンタクト層8)最後に、850℃でMgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Ga_{0.8}Nよりなるp側コンタクト層8を150オングストロームの膜厚で成長させる。p側コンタクト層はp型のIn_xAl_yGa_{1-x-y}N($0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$)で構成することができ、好ましくはMgをドープしたGa_{0.8}N、InGa_{0.8}Nとすれば、p電極20と最も好ましいオーミック接触が得られる。またMg濃度はVfを低下させる上でp側クラッド層よりも大きくすることが望ましい。

【0037】以上のようにして窒化物半導体を成長させたウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層の表面に、幅1.5μmのストライプ状のSiO₂よりなる保護膜を形成する。そしてRIE(反応性イオンエッチング装置)を用いSiCl₄ガスによりエッチングし、n側クラッド層4の表面を露出させ、保護膜直下部分にストライプ状の導波路領域を形成する。このようにストライプ導波路を形成する場合、エッチストップは、p側クラッド層7を0.2μm以下の膜厚で残した位置から下側、好ましくはp側クラッド層7と、p側光ガイド層6との界面から基板側に至る窒化物半導体層で止めた位置とすると、リーク電流が発生しにくく、閾値が低下しやすい。

【0038】ストライプ導波路形成後、SiO₂マスクをつけたまま、窒化物半導体層の表面にZrO₂よりなる絶縁膜100を形成する。絶縁膜100形成後、バッファードフッ酸に浸漬して、p側コンタクト層の上に形成したSiO₂を溶解除去し、リフトオフ法によりSiO₂と共に、p側コンタクト層の上にあるZrO₂を除去

9

する。このように導波路領域を形成するための保護膜を SiO_2 で形成し、その上から ZrO_2 等の SiO_2 と異なる材料よりなる絶縁膜を形成して、リフトオフ法によりコンタクト層の上の絶縁膜のみを除去することにより、ストライプ導波路の側面及びその側面と連続した窒化物半導体層の表面に均一な膜厚で絶縁性の高い膜が製膜できる。

【0039】絶縁膜100形成後、 Ni/Au からなるp電極20を図1に示すように、絶縁膜100を介してp側コンタクト層8と良好なオーミックが得られるように形成する。一方 GaN 基板の裏面には Ti/Al よりなるn電極21をほぼ全面に形成し、その上に Au/Sn よりなるメタライズ電極を形成する。

【0040】p、n電極両形成後、窒化物半導体基板1のM面（窒化物半導体を六角柱で表した場合にその六角柱の側面に相当する面）でを劈開して、その劈開面に共振器を作製する。なお、ストライプ導波路を形成する際、この劈開面を予め決定しておき、ストライプ方向がこの劈開面に対して、ほぼ垂直になるように設計することは言うまでもない。そしてストライプに平行な方向で切断してレーザチップとする。

【0041】レーザチップ作製後、 GaN 基板のn電極21側をメタライズされたヒートシンクに設置して、図1に示すようにp電極20のストライプの直上部にない位置に Au 線22をワイヤーボンディングしてレーザ素子とする。このレーザ素子を室温でレーザ発振を試みたところ、発振波長530nmと従来のレーザ素子に比較して100nm以上波長が長くなり、閾値電流密度5kA/cm²において室温連続発振を示し、電流電圧特性を測定しても、初期のリーク電流はほとんど発生していなかった。さらに電流値を上げて出力を上げ、20mWとしても、素子自体にショートは発生せず、30時間以上の連続発振を続けた。

【0042】【実施例2】実施例1において、n側光ガイド層4を成長させる際に、 Si を $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を20オングストローム成長させ、アンドープ GaN 層を20オングストロームの膜厚で交互に成長させて、総膜厚800オングストロームの超格子層を構成する。

【0043】さらに、p側光ガイド層6を成長させる際に、 Mg を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたp型 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を20オングストローム成長させ、アンドープ GaN 層を20オングストロームの膜厚で交互に成長させて、総膜厚800オングストロームの超格子層を構成する。その他は実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、実施例1のものとほぼ同等の特性を有するレーザ素子が得られた。

【0044】【実施例3】実施例1において、n側光ガイド層4を成長させる際、最初にアンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を20オングストローム成長させた後、 Si

(6)

10

を $3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたn型 GaN 層を20オングストロームの膜厚で成長させ、これらの層を交互に積層して超格子層を400オングストローム成長させる。次にアンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を20オングストローム成長させた後、 Si 濃度を $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ にしたn型 GaN 層を20オングストローム成長させ、これらの層を交互に積層して超格子層を400オングストローム成長させる。

【0045】さらにp側光ガイド層6を成長させる際、最初にアンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を20オングストローム成長させた後、 Mg を $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたp型 GaN 層を20オングストローム成長させ、これらの層を交互に積層して超格子層を400オングストローム成長させる。次にアンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を20オングストローム成長させた後、 Mg 濃度を $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ にしたp型 GaN 層を20オングストローム成長させ、これらの層を交互に積層して超格子層を400オングストローム成長させる。その他は実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、実施例1のものとほぼ同等の特性を有するレーザ素子が得られた。

【0046】【実施例4】実施例1において、n側光ガイド層4を成長させる際に Si を $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を20オングストロームと、 Si を $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたn型 GaN 層を20オングストローム成長させて、総膜厚800オングストロームの超格子層を成長させる。

【0047】またp側光ガイド層6を成長させる際に Mg を $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ドープした $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層を20オングストロームと、 Mg を $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたp型 GaN 層を20オングストローム成長させて、総膜厚800オングストロームのp側光ガイド層6を成長させる。その他は実施例1と同様にしてレーザ素子を作製したところ、実施例1のものとほぼ同等の特性を有するレーザ素子が得られた。

【0048】【実施例5】図2は本発明の他の実施例に係るLED素子の構造を示す模式的な断面図である。以下この図を元に実施例5について説明する。

【0049】実施例1と同様にして得た窒化物半導体基板1の上に、実施例1と同様にして Si を $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープした GaN バッファ層2を3 μm の膜厚で成長させる。

【0050】（活性層55）次に、800℃にて Si を $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 障壁層を100オングストロームの膜厚で成長させ、続いて750℃にて、アンドープ $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ 井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。次に750℃に保持したまま、アンドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ を10オングストローム成長させる。次に800℃にて Si を $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたn型 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層を100オングストローム成長させる。

(7)

11

【0051】 障壁層成長後、温度を750℃に下げ、続いてアンドープ $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ 井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる、続いて750℃にて、アンドープ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 層（第2の窒化物半導体層）を10オングストローム成長させ、次に800℃にてSiドープ $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層を100オングストローム成長させる。

【0052】 このようにして障壁+（井戸+第2+障壁）×5とを積層した総膜厚800オングストロームの多重量子井戸構造からなる活性層5を成長させる。

【0053】 （p側クラッド層66）800℃で、アンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ よりなる層を20オングストローム成長させ、続いて Cp2Mg ガスを流し、Mgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたp型GaN層を20オングストロームの膜厚で成長させる。そしてこれらの層を交互に積層して超格子層を構成し、総膜厚800オングストロームのp側クラッド層66を成長させる。

【0054】 （p側コンタクト層88）最後に、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層88を500オングストロームの膜厚で成長させる。

【0055】 成長後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層の表面にオーミック用のNi/Auからなる透光性のp電極20'を200オングストロームの膜厚で形成し、その上にAuからなるボンディング用のpパッド電極30を形成する。一方窒化物半導体基板の裏面のほぼ全面にはTi/Alよりなるn電極21'を形成する。

【0056】 電極形成後、矩形上のチップに分離してLED素子としたところ、20mAにおいて530nmの

12

発光を示し、順方向電圧3.2Vと従来のLED素子に比較して0.2V以上低下し、出力は1.2倍以上に向上した。

【0057】

【発明の効果】 以上説明したように、本発明によると430nm以上の波長で発振するレーザ素子が得られる。また本発明はレーザ素子、LED素子について説明したが、本発明はレーザ素子だけではなく、Inを有する井戸層を有する素子であれば、SLD、受光素子等どのような窒化物半導体デバイスに適用できることは言うまでもない。

【図面の簡単な説明】

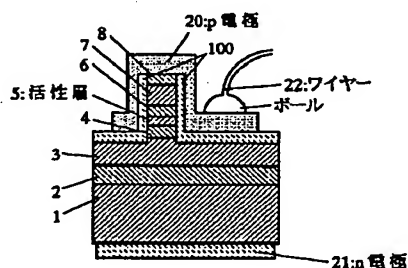
【図1】 本発明の一実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式断面図。

【図2】 本発明の他の実施例に係るLED素子の構造を示す模式断面図。

【符号の説明】

- 1・・・窒化物半導体基板
- 2・・・バッファ層
- 3・・・n側クラッド層
- 4・・・n側光ガイド層
- 5、55・・・活性層
- 6・・・p側光ガイド層
- 7、66・・・p側クラッド層
- 8、88・・・p側コンタクト層
- 20、20'・・・p電極
- 21、21'・・・n電極
- 30・・・pパッド電極
- 22・・・Au線
- 100・・・絶縁膜

【図1】



【図2】

